



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS

**¿PODEMOS ESTABLECER
UN CONJUNTO MÍNIMO DE
LANDMARKS QUE DEFINA
EL SEXO DE UN COXAL?
MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA
APLICADA AL CONOCIMIENTO
DE LAS POBLACIONES DEL PASADO**

**PROYECTO FIN DE CARRERA
BIOLOGÍA EVOLUTIVA Y BIODIVERSIDAD**

MARÍA DE LAS NIEVES CANDELAS GONZÁLEZ
Madrid, junio 2012



LABORATORIO
DE POBLACIONES
DEL PASADO



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 El trabajo con restos óseos arqueológicos.....	3
2.2 Conociendo las poblaciones del pasado: La determinación del sexo.....	4
2.2.1 <i>La pelvis y el hueso coxal</i>	5
2.2.2 <i>Determinación del sexo: Métodos cualitativos y cuantitativos</i>	6
2.3 El análisis de la forma: De la morfología descriptiva a la cuantitativa.....	8
2.3.1 <i>Morfometría geométrica</i>	9
2.3.2 <i>Estudios realizados sobre el hueso coxal</i>	11
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....	12
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
4.1 Elección de la muestra.....	12
4.2 Obtención de los datos: Digitalización de los coxales.....	14
4.2.1 <i>Landmarks</i>	14
4.2.2 <i>Toma de datos</i>	16
4.3 Análisis de los datos.....	16
4.4 Simulación de restos arqueológicos.....	16
4.5 Prueba de error intraobservador.....	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
5.1 Evaluación del error intraobservador.....	17
5.2 Estudio del hueso coxal completo.....	18
5.3 Estudio de la simulación de restos arqueológicos.....	24
6. CONCLUSIONES.....	25
7. AGRADECIMIENTOS.....	27
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. RESUMEN

Los estudios osteoarqueológicos aportan información sobre las poblaciones del pasado, y la determinación sexual, que forma parte de la caracterización de los individuos, resulta imprescindible para llevarlos a cabo. La necesidad de mejorar los métodos de determinación de sexo ha favorecido la aplicación de técnicas novedosas, como la Morfometría geométrica. Este estudio pretende comprobar si la Morfometría geométrica es aplicable en la discriminación sexual, evaluando esta técnica en una colección de coxales arqueológicos (n= 46). Los resultados indican que la metodología no resulta útil para realizar la clasificación por sexos, pero sí permite describir la variabilidad sexual de manera muy precisa, encontrándose las mayores diferencias entre la morfología de los coxales de hombres y mujeres en las regiones anatómicas responsables del canal del parto. Asimismo, los resultados permiten cuestionar la importancia del tamaño en la determinación sexual, debido a que influye muy débilmente en la forma del hueso coxal.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 El trabajo con restos óseos arqueológicos

Conocer el modo de vida de las poblaciones que nos precedieron resulta fundamental para reconstruir nuestra historia. Esta aproximación al pasado puede nutrirse de las representaciones artísticas, las fuentes escritas y los restos arqueológicos. Sin embargo, muchos de estos nexos de unión entre pasado y presente se han perdido debido a que los materiales en que fueron realizados son perecederos.

La fuente de información habitual sobre la que trabajan los antropólogos interesados en las poblaciones del pasado son los restos óseos humanos. Los huesos dan testimonio del comportamiento demográfico de la población a partir de la estimación de la edad de muerte y el sexo de los individuos hallados, de su estado de salud mediante la observación de los marcadores patológicos, e incluso de sus costumbres si nos detenemos a estudiar el propio ritual de enterramiento. Por ello, es lógico pensar en la importancia del proceso de excavación, tratamiento y preparación de estos restos (Isidro y Malgosa, 2003; Rascón, 2003).

Sin embargo, los estudios osteoarqueológicos presentan numerosas dificultades. No debemos olvidar que la población estudiada sólo es una pequeña muestra de la población de origen, debido a que está compuesta únicamente por aquellos individuos fallecidos que fueron enterrados, se han preservado y después de su excavación hemos podido estudiar (Waldron, 1994).

En la misma línea, los análisis paleopatológicos se enfrentan a la llamada “paradoja osteológica”. La presencia de determinados marcadores paleopatológicos puede llevar a sobrevalorar la incidencia de las patologías identificadas en la población, cuando una mayor presencia de lesiones esqueléticas podría explicarse por una mayor supervivencia a la enfermedad en cuestión. Es decir, los mismos datos podrían llevarnos a conclusiones totalmente contrarias (Pérez-Pérez, 1993). Debemos, por tanto, prestar especial atención a estas limitaciones a la hora de establecer hipótesis sobre el estado de salud u otras características relativas a las poblaciones pretéritas.

Además, hemos de tener en cuenta otros aspectos de gran importancia, como el tipo de enterramiento estudiado. Podemos distinguir entre dos grandes tipos de enterramientos: los primarios y los secundarios. En el enterramiento primario, la inhumación del cadáver y su esqueletización tienen lugar en su ubicación definitiva. Sin embargo, es común encontrar enterramientos de tipo secundario, que se caracterizan por ser agrupaciones no articuladas de huesos como consecuencia de la existencia de dos fases de enterramiento, perdiéndose la individualidad de los sujetos allí depositados. Existen pocos estudios que nos aporten una metodología clara a la hora de enfrentarnos a este último tipo de inhumación, debido a las grandes dificultades que debemos afrontar en nuestros análisis antropológicos, principalmente en la individualización de los esqueletos (Villena *et al.*, 1996; Campillo y Subirà, 2004; Aguilar, 2011).

2.2 Conociendo las poblaciones del pasado: La determinación del sexo

La determinación del sexo de los esqueletos es un paso previo fundamental en los estudios antropológicos y paleodemográficos, formando parte de la caracterización individual de cada sujeto. Las regiones anatómicas que mejor permiten esta identificación son la pelvis, el cráneo y los huesos largos (Ferembach *et al.*, 1980),

siendo especialmente importante la pelvis por su implicación en la reproducción (Bruzek, 2002; Bruzek y Murail, 2006).

2.2.1 La pelvis y el hueso coxal

La pelvis humana adulta está compuesta por cuatro elementos: los coxales izquierdo y derecho, el sacro y el cóccix (White y Folkens, 2005).

El coxal adulto está formado por la unión de tres elementos óseos distintos: el ilion, el isquion y el pubis. Hasta la pubertad estas unidades anatómicas se encuentran separadas por un anillo cartilaginoso denominado cartílago trirradiado, siendo entre los 13-14 (en mujeres) y los 17 años (en varones) cuando se produce su fusión completa (Figura 1). Los huesos coxales se unen entre sí mediante la articulación de la sínfisis púbica vía cartílago secundario, y al sacro a través de la articulación sacroilíaca vía sinovial (Scheuer y Black, 2000).

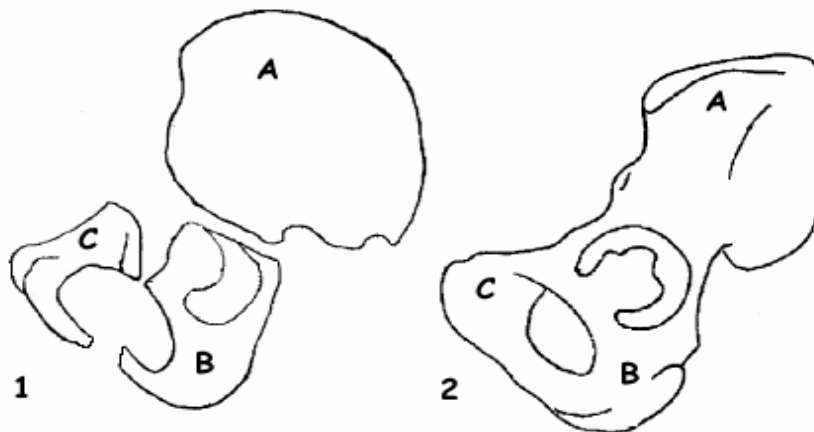


Figura 1: Ilion (A), isquion (B) y pubis (C) en el hueso coxal sin fusionar (1) y el hueso coxal fusionado (2) (Rascón, 2003; modificado de Rissech, 2003)

La forma de las estructuras que conforman la pelvis femenina, así como la manera que articulan entre ellas, resulta del equilibrio entre las necesidades mecánicas que impone el bipedalismo y los requerimientos propios del embarazo y el parto (Scheuer y Black, 2000; Rascón, 2003; Bruzek y Murail, 2006). Por este motivo, esta región del esqueleto presenta un dimorfismo sexual característico (Figura 2) que consiste en una mayor amplitud del interior de la cavidad pélvica, también llamado canal del parto, imprescindible para la gestación y posterior nacimiento de un feto a término. El ensanchamiento del canal del parto en la mujer,

está determinado por la modificación, respecto al coxal masculino, de sus estructuras asociadas: el pubis experimenta un alargamiento a la vez que el isquion se acorta y se desplaza hacia el exterior, la escotadura ciática mayor se abre y la articulación sacroilíaca se reorienta, quedando el sacro en una posición más externa.

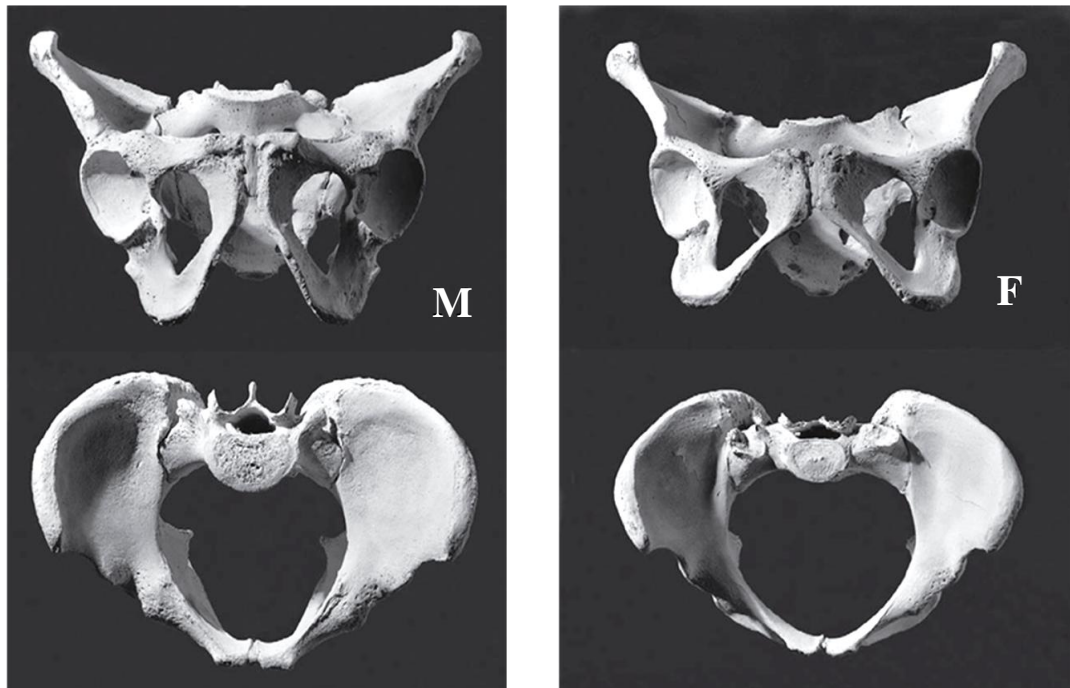


Figura 2: Pelvis masculina (M) y femenina (F) en vista ventral y superior
(Modificado de White y Folkens, 2005)

En la pubertad, la maduración sexual se produce de forma paralela a la fusión del hueso coxal, siendo a partir de este momento cuando las diferencias morfológicas entre hombres y mujeres comienzan a ser evidentes. Existe una gran controversia acerca de la determinación del sexo de los individuos inmaduros, y se ha cuestionado el hecho de basar esta identificación en características cuyo desarrollo comienza posteriormente (González, 1999; Colomer, 2008). Parece entonces razonable no asegurar la correcta asignación, en un grupo u otro de sexo, cuando aún no se ha producido la fusión completa del coxal.

2.2.2 Determinación del sexo: Métodos cualitativos y cuantitativos

Los métodos cualitativos, también llamados morfológicos, determinan el sexo mediante una inspección visual de las características que se pueden encontrar en el

esqueleto (p. ej., aspecto de la rama mandibular, concavidad subpúbica, proporción de los segmentos de la escotadura ciática mayor, etc.).

Existen numerosos métodos cualitativos de determinación de sexo para el hueso coxal. Entre ellos podemos destacar el método de Phenice (1969) que analiza tres características en el pubis, el de Iscan y Derrick (1984) centrado en la pelvis inferior, las recomendaciones de Ferembach *et al.* (1980) evaluando un total de once caracteres en la pelvis, y el de Bruzek *et al.* (1996) que observa la morfología de la articulación sacroilíaca. Finalmente, debemos destacar el trabajo realizado por este último autor en 2002, realizando una revisión detallada de los anteriores métodos para recoger aquellos caracteres que de forma más precisa explican las diferencias sexuales entre hombres y mujeres, incorporando variables dicotómicas (presencia/ausencia) para dar una mayor objetividad a la metodología (Bruzek, 2002).

A pesar de que los métodos cualitativos pueden alcanzar el 90-95% de precisión, la crítica es dura con su subjetividad y con el hecho de que la experiencia del observador haga variar en gran medida estos porcentajes (Bruzek y Murail, 2006; Debono y Mafart, 2006). A esto hay que sumarle el número elevado de casos en que los huesos que forman la pelvis aparecen fragmentados en las colecciones de restos óseos arqueológicos y la remodelación del hueso que tiene lugar con la edad, que puede alterar la presencia de algunos caracteres diagnósticos. Todo ello provoca grandes dificultades para realizar una correcta determinación del sexo (Kelley, 1979; Rogers y Saunders, 1994; Rascón, 2003; Murail *et al.*, 2005).

El otro gran grupo de técnicas para determinar el sexo de los individuos, los métodos cuantitativos o métricos, se basan en el análisis de las dimensiones de los huesos (p. ej., ángulo mandibular, altura máxima del hueso coxal, diámetro acetabular, índice isquiopúbico, etc.). La mayoría de autores que han propuesto criterios cuantitativos para la determinación del sexo lo han hecho apoyándose en las diferencias de tamaño y robustez existentes, teóricamente, entre hombres y mujeres. Sin embargo, este patrón está sujeto a la variabilidad intra e interpoblacional y hace que las medidas lineales, independientes unas de otras, nos puedan conducir a errores en la identificación (Bruzek y Murail, 2006). Lo más apropiado es sustituir las medidas lineales por análisis de tipo discriminante y

elaborar índices entre aquellas medidas que puedan estar correlacionadas (Ferembach *et al.*, 1980).

A pesar de la mayor objetividad que parecen presentar los métodos cuantitativos, también muestran ciertos inconvenientes añadidos. Por un lado, los análisis métricos necesarios para el diagnóstico del sexo implican una inversión de tiempo muy superior al que precisan los métodos visuales, y la fragmentariedad de los restos ya mencionada imposibilita la obtención de muchas de las dimensiones necesarias para una correcta asignación. En el caso concreto de los análisis discriminantes, se tiende a cometer errores cuando se utilizan en una población distinta a aquella sobre la que se calculó (Robledo *et al.*, 1995; Rascón, 2003; Bruzek y Murail, 2006).

Debemos destacar aquí la propuesta de Murail *et al.* (2005), cuyo método puede solventar muchos de los problemas anteriormente descritos. Es conocido como *Diagnose Sexuelle Probabiliste* o método DSP. Al trabajar con distintas combinaciones de medidas, se aporta objetividad a la metodología y se salva el obstáculo de trabajar con restos óseos fragmentarios. Igualmente, en lugar de proponer un discriminante específico para cada población, los datos utilizados para diseñar el método proceden de extensas colecciones de los cuatro continentes, recogidos en una base de datos mundial. Asimismo, analizan individualmente la posibilidad de que un sujeto pertenezca al sexo femenino o al masculino, lo que añade un argumento estadístico a la hora de realizar la asignación.

2.3 El análisis de la forma: De la morfología descriptiva a la cuantitativa

La necesidad de cuantificar las dimensiones de los objetos y los organismos viene de antiguo. Los artesanos egipcios ya utilizaban cuadrículas y proporciones estandarizadas sobre las figuras que querían representar (Slice, 2005). Sin embargo, en sus comienzos, la morfología se limitó a la descripción de las estructuras observadas. La forma, considerada una cualidad de la estructura, podía ser descrita de manera muy precisa pero no podía analizarse cuantitativamente (Toro, 2010).

A principios del siglo XX, la Biología experimenta un cambio desde los campos meramente descriptivos hacia otros más cuantitativos, y las formas biológicas

comienzan a analizarse a través de variables matemáticas. Se destacan aquí los aportes de Pearson, en 1895 y 1901, y Fisher, en 1935, citados en Adams *et al.* (2004), al desarrollo de procedimientos estadísticos que reforzaron los métodos cuantitativos.

Es en los años sesenta y setenta cuando la biometría recibe el empuje definitivo, integrando la estadística multivariante en la explicación de los patrones de variación morfológica entre y dentro de los grupos. La aplicación de métodos estadísticos multivariantes a un conjunto de variables morfológicas (longitudes, anchuras, ángulos, etc.) es lo que hoy día conocemos como “Morfometría clásica o tradicional” (Adams *et al.*, 2004).

A finales de los años ochenta y principios de los noventa, se acentúa la necesidad de analizar la morfología de las estructuras integrando la geometría de las mismas en los análisis, hasta ahora no conseguido mediante la Morfometría tradicional. Esta nueva corriente de cuantificación es llamada por Rohlf y Marcus (1993) “Morfometría geométrica”. De esta manera se desarrollaron nuevos métodos como los basados en *landmarks*, que hoy día son los más utilizados. Paralelamente, los trabajos de Kendall de 1984 y 1986 hicieron posible que los cambios detectados por los métodos de análisis multivariante pudieran ser visualizados. Todo esto hizo de la Morfometría geométrica una propuesta rigurosa para la cuantificación de los cambios de forma (Bookstein, 1991; Adams *et al.*, 2004).

En la literatura apenas se hace referencia a la obra de D’Arcy Thomson de 1917 “*Sobre el crecimiento y la forma*”, sin embargo Bookstein (1991) fue capaz de reconocer que este libro suponía la transición de la Morfometría a una disciplina en sí misma. Queda recogida en él la síntesis de la geometría, la estadística y la biología. Herramientas como las mallas de deformación, que hoy día se siguen utilizando en las representaciones de Morfometría geométrica, aparecen por primera vez en este libro.

2.3.1 Morfometría geométrica

La Morfometría geométrica engloba un conjunto de técnicas de estudio de la forma en el espacio bi o tridimensional. Analiza los cambios producidos en la

forma a partir de desplazamientos en el plano (2D) o en el espacio (3D) de conjuntos de puntos de referencia, denominados *landmarks*. Por tanto, la forma del objeto estudiado no se describe en términos de dimensiones, sino de la relación espacial entre sus partes. De esta manera, la información geométrica contenida en los datos originales y la obtenida en el análisis estadístico puede recuperarse, haciéndose posible la visualización de los cambios morfológicos a través de representaciones gráficas (Bookstein, 1991; Zelditch *et al.*, 2004; Slice, 2005).

El modo de capturar la forma del objeto en Morfometría geométrica es a partir de los *landmarks*. Los *landmarks* son puntos anatómicos discretos que pueden reconocerse y repetirse en todos los sujetos de estudio. Se traducen en coordenadas cartesianas (x, y, en el espacio bidimensional; x, y, z, en el espacio tridimensional) permitiendo así su análisis cuantitativo (Bookstein, 1991). De esta manera, obtenemos la representación espacial de la geometría de la forma estudiada.

Las coordenadas obtenidas no pueden compararse entre sí sin realizar sobre ellas un tratamiento previo, ya que los datos originales de las coordenadas dependen de la orientación, tamaño y desplazamiento del objeto en cuestión. Recordemos aquí a Kendall (1977) cuando afirmaba “*Forma es toda información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto*”. A raíz de sus estudios, se desarrollaron distintos métodos para eliminar estos factores.

El procedimiento más utilizado en la actualidad es la Superposición Procrustes por el método generalizado de mínimos cuadrados (GLS, del inglés *General Least Squares*). Esta técnica minimiza las distancias entre los *landmarks* homólogos (llamadas distancias Procrustes), haciendo un ajuste por mínimos cuadrados, mediante la reflexión, escalado, traslación y rotación de cada una de las configuraciones a la configuración media o “consenso” (Zelditch *et al.*, 2004).

La etapa del escalado en la Superposición Procrustes GLS es la encargada de eliminar la influencia del tamaño en los datos y se lleva a cabo escalando los centros geométricos, o centroides, de cada objeto. Sin embargo, el tamaño de cada objeto individual no se pierde, sino que queda recogido en lo que se conoce como “centroid size” o tamaño del centroide (Bookstein, 1991). Podemos así, mediante los análisis estadísticos, analizar la influencia del tamaño sobre la variación de la muestra, sin que este factor condicione los restantes cálculos realizados.

Al terminar este ajuste obtenemos las variables de forma que no están sometidas a la influencia de los factores anteriormente descritos, pudiendo así hacer una evaluación profunda de los cambios morfológicos.

2.3.2 Estudios realizados sobre el hueso coxal

Como ya hemos visto, estas técnicas son relativamente recientes en el tiempo, pero su aplicación ha experimentado un gran auge en la última década. La Morfometría geométrica se ha utilizado tradicionalmente en el campo de la Paleontología. En Antropología física, disciplina que más recientemente ha incorporado estas técnicas, tal y como ocurre en los análisis de Morfometría clásica, la distribución anatómica de los huesos en los que se centran las investigaciones no es aleatoria ni uniforme, siendo el cráneo el objeto de estudio más destacado. El esqueleto postcraneal también ha sido estudiado desde la perspectiva de la Morfometría geométrica pero los trabajos publicados al respecto no son tan numerosos (Slice, 2007).

Las pocas investigaciones relativas al dimorfismo sexual de la pelvis o del hueso coxal se han visto favorecidas por la necesidad de mejorar los métodos de determinación de sexo. Encontrar nuevas regiones de variación sexual, así como hallar un número reducido de puntos que permita discriminar correctamente, facilitaría la determinación en los restos óseos que aparecen incompletos.

Analizando regiones concretas del coxal, como la escotadura ciática mayor o la región isquiopúbica, algunos autores han observado que las técnicas de Morfometría geométrica pueden discriminar entre hombres y mujeres con precisiones elevadas (Steyn *et al.*, 2004; Pretorius *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007, 2009), pero se limitan a aplicar la técnica sin tener en cuenta la gran implicación fisiológica del coxal en la reproducción, motivo por el que la morfología de hombres y mujeres es diferente. Además, estos estudios se han realizado sobre fotografías de los coxales (2D), y debido a la compleja estructura que presenta este hueso parece conveniente que el análisis se realice considerando todos los planos (3D).

Estos motivos son los que nos ha llevado a plantear la aplicación de la Morfometría geométrica sobre coxales completos, como en el estudio de Bytheway y Ross (2010), cuya investigación analiza un total de 36 *landmarks* de manera tridimensional. Este número de puntos de referencia podría reducirse si tratamos de localizarlos en aquellas regiones que, en la literatura, resultan de mayor utilidad para la determinación del sexo por su significado biológico.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Debido a que la Morfometría geométrica nos aporta información sobre la variación de la forma, podría servir como método de determinación de sexo en restos óseos fragmentarios de tipo arqueológico.

- Objetivo 1: Aplicar técnicas de Morfometría geométrica a los huesos coxales de una colección osteoarqueológica para comprobar su utilidad como método de determinación de sexo.
- Objetivo 2: Definir aquella combinación mínima de puntos que permita la determinación del sexo de un individuo adulto a partir del hueso coxal.
- Objetivo 3: Localizar las regiones que absorben una mayor información relativa al sexo para contrastarlas con las hasta ahora estudiadas, y añadir, si los resultados lo permiten, otras nuevas.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Elección de la muestra

Los huesos utilizados para esta investigación forman parte de la colección de Almansa (Albacete), depositada con propósitos científico-docentes en el Laboratorio de Poblaciones del Pasado (Dpto. Biología) de la Universidad Autónoma de Madrid. Se trata de un osario posiblemente asociado a la iglesia de Santa María de la Soledad, que contiene restos óseos de individuos cuya datación sitúa entre los siglos XIII y XVIII. En un primer estudio parcial de la colección, se ha estimado que está compuesta por un número mínimo de 159 individuos (Aguilar, 2011).

El criterio preferencial para la inclusión de los coxales en la muestra de estudio fue su estado de preservación, así como la ausencia de signos patológicos observables. Se seleccionaron un total de 46 huesos coxales de individuos adultos, completos o levemente dañados, entre los que se identifican 25 masculinos y 21 femeninos. La muestra queda representada a su vez por 24 coxales izquierdos y 22 derechos. Para la determinación del sexo se han utilizado los métodos de Bruzek (1996, 2002) y Phenice (1969). La asignación se llevó a cabo por tres investigadores distintos, para minimizar los posibles errores en la determinación sexual de los sujetos, alcanzándose la unanimidad en la clasificación.

Dado que los restos proceden de un osario, el utilizar coxales izquierdos y derechos, imprescindible para conseguir el número mínimo de observaciones requeridas para los análisis, podría ocasionar la inclusión en la muestra de estudio de la pareja de coxales perteneciente a un mismo individuo y, con ello, recoger en los datos información redundante. Para evitar este hecho se realizó una prueba de localización de posibles parejas. La prueba consistió en un examen visual de la totalidad de los coxales, separados previamente por sexo y según su lateralidad. Basándonos en la simetría del esqueleto y la contigüidad articular (Villena *et al.*, 1996), se determinaron las posibles parejas por cuatro investigadores distintos, cada uno de ellos con un grado diferente de conocimiento del elemento óseo analizado. La totalidad de las observaciones realizadas coincidieron con la identificación de una pareja entre los coxales masculinos, y tan sólo uno de ellos puso en duda la presencia de otra más entre los femeninos, quedando descartada la posible existencia de ningún otro par perteneciente a un mismo individuo entre los restantes sujetos de la muestra. Las dos posibles parejas fueron, junto a otra de referencia existente en la colección y cuatro pares de coxales elegidos al azar, analizados según el método DSP. Se observó que tanto en la pareja de coxales masculinos identificada durante la prueba como en la de referencia, las mismas medidas para el coxal izquierdo y derecho diferían en escasos milímetros. Por el contrario, aquellos pares seleccionados al azar y la posible pareja femenina, que había sido sugerida por uno de los cuatro investigadores, presentaban mayores diferencias en las dimensiones. De cada una de las parejas identificadas y confirmadas, se excluyó el coxal izquierdo quedando el resto de coxales incluidos en la muestra estudiada.

4.2 Obtención de los datos: Digitalización de los coxales

4.2.1 Landmarks

Para el estudio propuesto se eligieron un total de 28 *landmarks*, definidos en la Tabla 1 y representados en la Figura 3.

<i>Landmark</i>	Descripción
1	Punto más prominente de la espina ilíaca anterosuperior
2	Punto más prominente de la espina ilíaca anteroinferior
3	Unión entre la base de la espina ilíaca anteroinferior y el margen del acetábulo
4	Punto más alto sobre la cresta ilíaca que define la altura máxima del coxal (Buikstra y Ubelaker, 1994)
5	Punto más prominente de la espina ilíaca posterosuperior
6	Punto más prominente de la espina ilíaca posteroinferior
7	En vista medial, punto sobre la cresta ilíaca que más destaca hacia el observador
8	En vista lateral, punto sobre la cresta ilíaca que más destaca hacia el observador
9	Ápex o vértice de la articulación sacroilíaca
10	Punto más anterior sobre el extremo de la mitad superior de la articulación sacroilíaca
11	Punto más posterior sobre el extremo de la mitad inferior de la articulación sacroilíaca
12	Unión entre la base de la espina isquiática y el extremo anterior de la escotadura ciática mayor
13	Punto más profundo del contorno de la escotadura ciática mayor
14	Intersección de la línea arcuata con la recta que une los <i>landmarks</i> 4 y 18
15	Intersección de la línea arcuata con la recta que une los <i>landmarks</i> 1 y 18
16	Intersección de la línea arcuata con la recta que une el <i>landmark</i> 18 con el extremo más saliente de la eminencia iliopúbica
17	Intersección de la línea arcuata con la recta que une el <i>landmark</i> 18 con el punto medio de la base del tubérculo púbico
18	Extremo inferior del coxal sobre la tuberosidad isquiática
19	Unión de la tuberosidad isquiática y la rama isquiopúbica
20	Punto más alto de la sínfisis púbica
21	Punto más bajo de la sínfisis púbica
22	Punto medio de la sínfisis púbica
23	Proyección sobre el agujero obturador del punto medio de la sínfisis púbica
24	Punto acetabular (Rissech <i>et al.</i> , 2001)
25	El punto más prominente del extremo anterior de la superficie semilunar del acetábulo
26	El punto más prominente del extremo posterior de la superficie semilunar del acetábulo
27	Intersección de la cresta acetabular con la recta que une los <i>landmarks</i> 3 y 18
28	Punto central del acetábulo sobre la fosa acetabular

Tabla 1: Descripción de los *landmarks* seleccionados

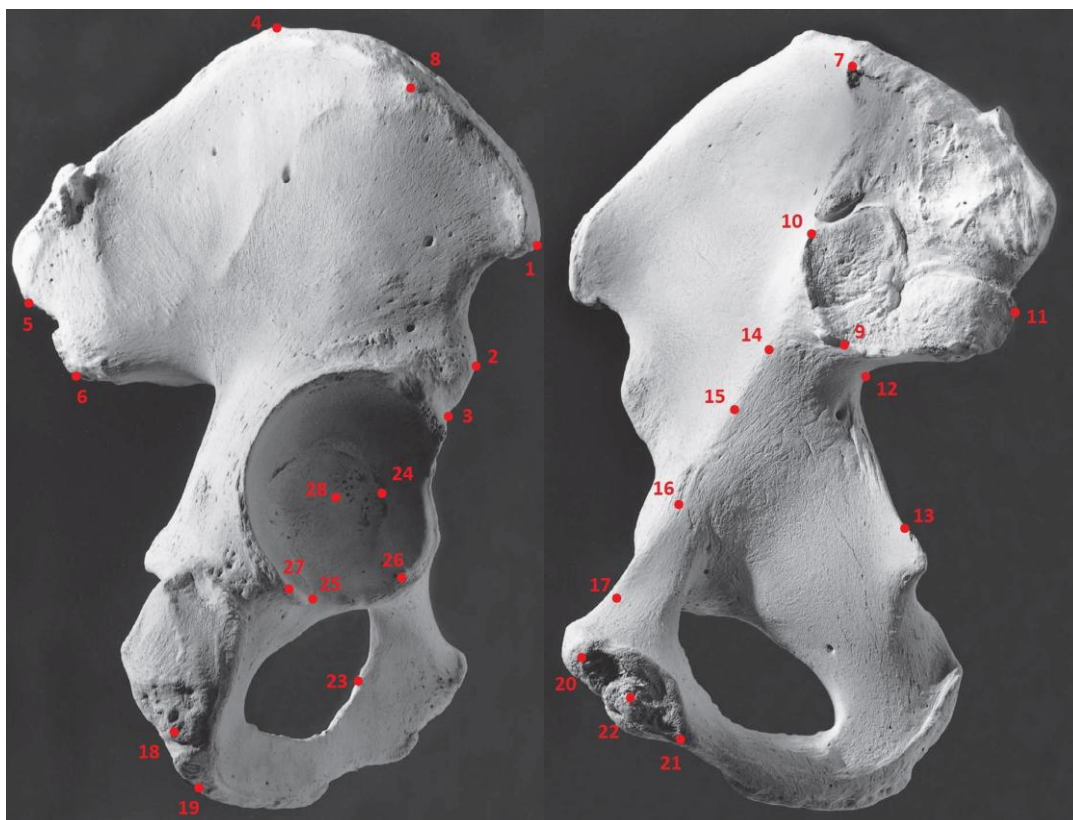


Figura 3: Representación gráfica de los *landmarks* seleccionados
(Imágenes modificadas de White y Folkens, 2005)

Bookstein, entre otros, realizó una clasificación de los *landmarks* atendiendo a la definición de la localización de estos puntos, así como a las dificultades en los análisis estadísticos que estos pueden presentar (ver Bookstein, 1991). Los mejores *landmarks* son los denominados “tipo I”, ya que se encuentran claramente localizados y delimitados en regiones con significado biológico, quedando la homología entre los sujetos fuertemente respaldada. Un ejemplo de *landmark* tipo I sería el número 9 de este estudio, ubicado en el ápex o vértice de la articulación sacroilíaca. Por la compleja estructura que presenta el hueso analizado, y con el objetivo de incorporar todas aquellas regiones que mejor responden al dimorfismo sexual, hemos tenido que recurrir a otros tipos de puntos más problemáticos que pertenecen a los tipos II y III, descritos como las regiones extremas y aquellos puntos contruidos con la referencia de dos *landmarks* tipo I. Este último sería el caso de los números 14-17, que se corresponden con la curvatura trazada por la línea arcuata. Esta línea delimita el canal de parto y, desde nuestro punto de vista, resulta imprescindible su incorporación en el estudio, aunque no presente en todo su recorrido anatómico ningún punto que cumpla los requisitos del tipo I.

4.2.2 Toma de datos

La digitalización de los datos se llevó a cabo con un MicroScribe G2 (Immersion Corp.; San Jose, CA, EE.UU.), con una precisión indicada por la empresa de $\pm 0,38$ mm. Este brazo digitalizador permite obtener las coordenadas cartesianas (x, y, z) de cada *landmark*, almacenando los resultados en una hoja de cálculo dispuesta a tal efecto en un ordenador conectado al equipo.

Ya que disponíamos de 46 coxales y que en cada uno de ellos se registran las tres coordenadas para los 28 puntos elegidos, contamos con una extensa base de datos, con un total de 3 864 valores, sobre la que realizar nuestros análisis.

4.3 Análisis de los datos

El procesamiento de los datos, necesario para el trabajo con Morfometría geométrica, así como los análisis estadísticos se han realizado con el programa *MorphoJ* (v. 1.04a; Klingenberg, 2011). Paralelamente se ha utilizado el programa *Morphologika* (v. 2.5; O'Higgins y Jones, 2006) para una visualización más cómoda de los cambios en la forma y mejorar la interpretación de los resultados obtenidos. Ambos programas son gratuitos y están accesibles en la red. Análisis estadísticos complementarios han sido realizados con el programa *SPSS Statistics* v. 17.0 (IBM Corp.; Somers, NY, EE.UU.).

4.4 Simulación de restos arqueológicos

Ya que la determinación del sexo en individuos arqueológicos habitualmente se realiza sobre huesos incompletos, se realizó una simulación de restos arqueológicos seleccionando los *landmarks* del coxal completo pertenecientes a aquellas regiones que aparecen representadas de manera preferente: la mitad anterior del ilion (*landmarks* 1, 2, 3 y 8), la mitad posterior del ilion con la articulación sacroilíaca (*landmarks* 5, 6, 7, 9, 10, 11 y 14), el pubis (*landmarks* 17, 20, 21, 22 y 23), el isquion (*landmarks* 12, 13, 18 y 19) y el acetábulo (*landmarks* 3, 24, 25, 26, 27 y 28). Sobre cada nueva configuración se repitieron los análisis estadísticos para determinar la variabilidad sexual contenida en cada región por separado.

4.5 Prueba de error intraobservador

Se realizó una prueba para evaluar, cuantificar y controlar los posibles errores de medida cometidos durante la toma de datos. Se eligieron 4 coxales al azar y se digitalizaron dos veces. Asimismo, el proceso se repitió a lo largo de tres días sobre uno de ellos. Al total de 12 mediciones se sumaron los datos de dos coxales “control” (medidos en una única ocasión). Con esta muestra se realizó un análisis de componentes principales y, exportando los resultados al programa gratuito *PAST* (v. 2.15; Hammer *et al.*, 2001), se representaron en un dendrograma las distancias euclídeas del análisis clúster, de tipo jerárquico por métodos aglomerativos, obtenido con las puntuaciones de todas las componentes principales para cada uno de los individuos (Lockwood *et al.*, 2002; Bruner y Ripani, 2008).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Evaluación del error intraobservador

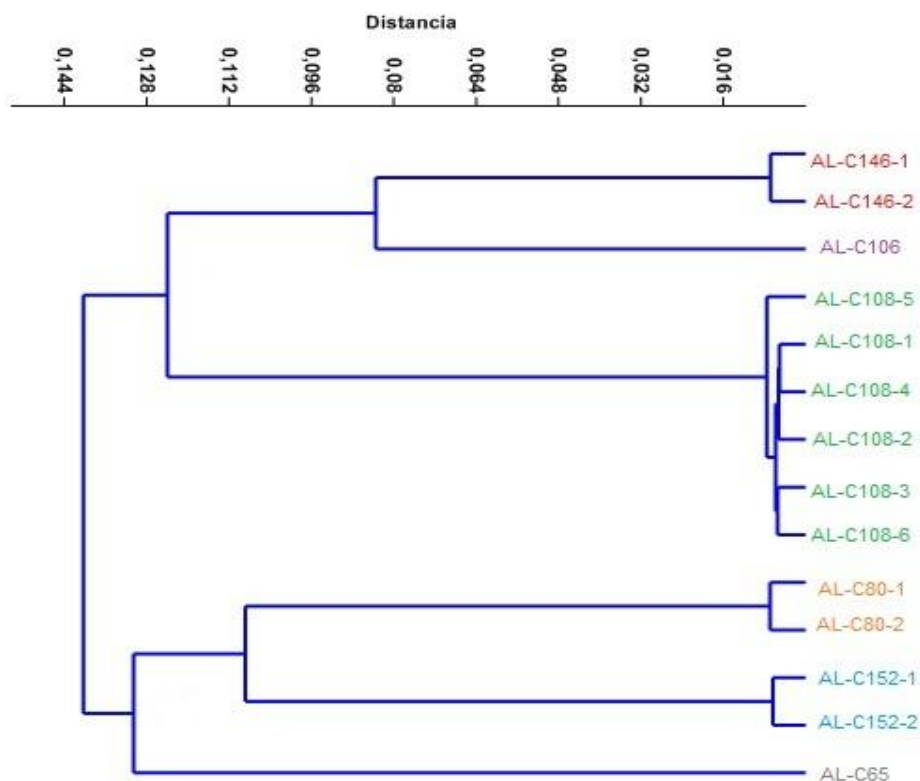


Figura 4: Dendrograma resultante del análisis clúster de las puntuaciones de las componentes principales en la prueba de error intraobservador

El dendrograma (Figura 4) muestra que las distancias euclídeas, que son las medidas de la similitud o discrepancia entre todos los pares de datos, entre las mediciones del mismo individuo en ningún caso superan las distancias entre sujetos diferentes, confirmándose que las repeticiones de los coxales son más parecidas entre sí que a cualquier otro coxal registrado para la prueba. Ocurre de igual manera entre las medidas tomadas el mismo día y las que fueron realizadas en días distintos. De esta manera podemos concluir que el error producido en la toma de datos se encuentra dentro de los valores aceptables, no afectando de forma significativa a los resultados obtenidos.

5.2 Estudio del hueso coxal completo

Análisis de componentes principales

Para hallar las componentes principales (PCs, del inglés *Principal Components*) que resumen la variabilidad de la muestra, las técnicas de Morfometría geométrica utilizan la matriz de covarianza de las coordenadas Procrustes, que son las coordenadas resultantes de la Superposición Procrustes GLS. El 90 % de la varianza se explica con 18 componentes principales (Tabla 2), aunque la varianza más representativa queda recogida en las 4 primeras componentes, tal y como puede observarse en el gráfico de sedimentación: PC1=18,426 %, PC2=14,334 %, PC3=10,481 % y PC4=8,033 % (Tabla 2 y Figura 5).

CP	Autovalor	% Varianza explicada	Acumulado	CP	Autovalor	% Varianza explicada	Acumulado
1	0,00168241	18,426	18,426	10	0,00029818	3,266	78,146
2	0,00130879	14,334	32,760	11	0,00022061	2,416	80,562
3	0,00095702	10,481	43,242	12	0,00019627	2,150	82,712
4	0,00073347	8,033	51,275	13	0,00017364	1,902	84,614
5	0,00050868	5,571	56,846	14	0,00014412	1,578	86,192
6	0,00049492	5,421	62,267	15	0,00013068	1,431	87,623
7	0,00045388	4,971	67,238	16	0,00010827	1,186	88,809
8	0,00038881	4,258	71,496	17	0,00009073	0,994	89,803
9	0,00030902	3,384	74,880	18	0,00008822	0,966	90,769

Tabla 2: Resultados del análisis de componentes principales

Porcentajes de varianza explicada tan pequeños en las componentes principales nos indican que la variabilidad no depende de una estructura anatómica concreta, sino que se reparte de manera conjunta entre distintas regiones del hueso.

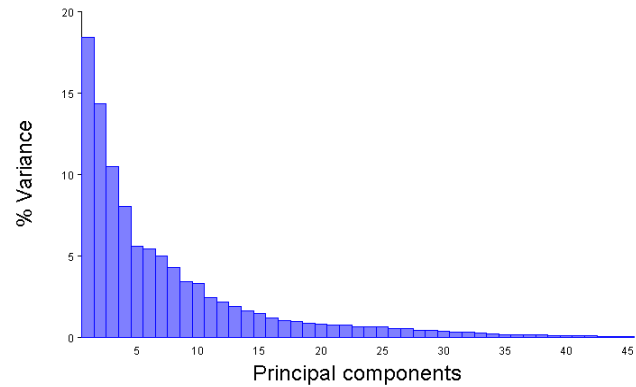


Figura 5: Gráfico de sedimentación del análisis de componentes principales

PC1, enfrentado a cualquier otra componente principal, es la única capaz de separar con cierta claridad a los hombres y las mujeres de la muestra (Figura 6).

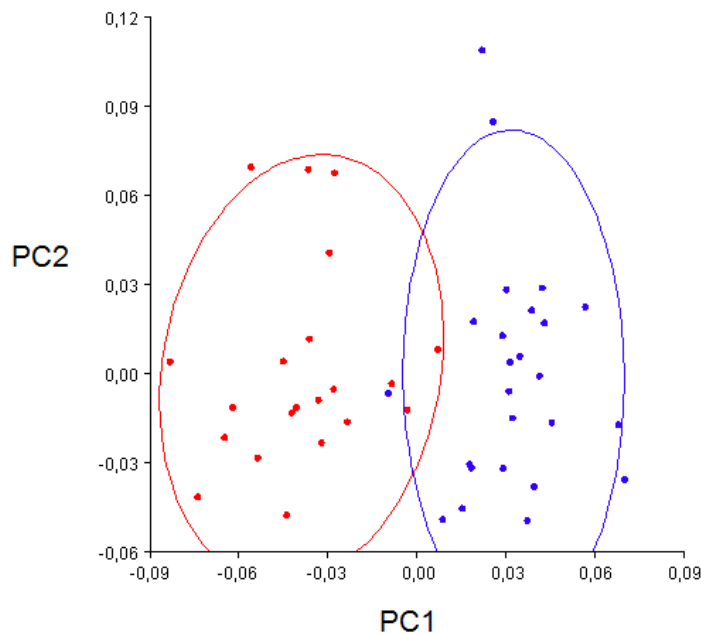


Figura 6: La componente principal 1 (PC1) frente a la componente principal 2 (PC2)
Hombres (azul) y mujeres (rojo)

La variabilidad explicada por la primera componente principal describe cambios producidos en el canal del parto. Esta estructura es más ancha en los coxales femeninos y representa todas aquellas transformaciones que tienen lugar en las estructuras asociadas a esta región, permitiendo así el ensanchamiento: una mayor longitud de la línea arcuata, la apertura de la escotadura ciática mayor, el alargamiento del pubis, etc. Sucede todo lo contrario en los coxales masculinos. La variación de estas estructuras tan diversas, aunque todas ellas relacionadas con el

canal del parto, coincide con la interpretación de los bajos porcentajes en las componentes principales.

PC2 describe cambios hacia una mayor o menor superficie relativa del ilion, teniendo los hombres mayor superficie que las mujeres. PC3 determina cambios en la morfología de la cresta ilíaca, desde contornos suavizados típicamente femeninos hasta formas visiblemente más dobladas o tipo “S” propias de los hombres. PC4 nos indica variación en la posición de la articulación sacroilíaca situando al sacro en una posición anterior en hombres o posterior en mujeres. Todas ellas se ajustan a patrones femeninos y masculinos pero, a diferencia de PC1, por sí mismas no son capaces de diferenciar de forma precisa la muestra estudiada.

Por tanto, se confirma que la variabilidad más significativa entre hombres y mujeres se concentra en las regiones anatómicas responsables de la conformación del canal del parto como consecuencia de la fuerte implicación que esta región del esqueleto presenta en la reproducción (Scheuer y Black, 2000; Rascón, 2003; Bruzek y Murail, 2006). En respuesta a la pregunta planteada en el título del trabajo, el conjunto mínimo de puntos de referencia que define el sexo del coxal es, de este modo, el que describe la variación existente en el canal del parto.

Teniendo en cuenta estas afirmaciones, todos los métodos visuales de determinación de sexo que realicen la asignación evaluando características propias del canal del parto y sus regiones asociadas deberían verse reforzados. El método propuesto por Bruzek en 2002 registra el mayor número de características en esta región y parece ser el más apropiado para la clasificación sexual de los individuos.

Regresiones y prueba T para muestras independientes

Los bajos porcentajes de varianza explicada en las componentes principales, generalmente también son indicativos de una relación débil entre el tamaño y los cambios en la forma, y hacen necesario contrastar esta hipótesis mediante una regresión. La regresión entre las coordenadas Procrustes (la forma, variable dependiente) y el *centroid size* (el tamaño, variable independiente) resulta significativa, por lo que la forma sí se encuentra influida por el tamaño: $p=0,0009$, con 10 000 permutaciones. Las permutaciones son herramientas estadísticas que

utilizan los programas de Morfometría geométrica, debido a que nos permiten evaluar la bondad con la que nuestra muestra se ajusta a las distintas hipótesis planteadas (en este caso, tan sólo 9 de las 10 000 permutaciones realizadas responden de manera no significativa), controlando que los resultados no se deban a la influencia del azar. La prueba T para muestras independientes llevada a cabo con el tamaño del centroide de hombres y mujeres, como prueba complementaria, también evidencia diferencias significativas en el tamaño medio del coxal de hombres y mujeres (t : -3,153, g.l.: 39,637; $p=0,003$), asumidas las diferencias en las varianzas de acuerdo al test de Levene (F : 5,608, $p=0,022$).

Sin embargo, la regresión también permite conocer el porcentaje de la variable dependiente que puede ser explicado a través de la variable independiente, siendo en este caso tan sólo un 6,0215 % de la forma el que puede explicarse por el tamaño. Por tanto, la forma no parece estar determinada por el tamaño, aunque presenta una pequeña influencia de éste, y podemos observarlo en la gráfica que enfrenta las puntuaciones de la regresión y el *centroid size* (Figura 7). Este aspecto es importante, y, quizá, no se ha abordado en profundidad en la literatura. Al encontrar diferencias significativas entre los coxales de hombres y mujeres, se establece una fuerte relación entre el tamaño y la forma (Robledo y Trancho, 1991; Tague, 1994, 2000), cuando en realidad esta relación es muy débil.

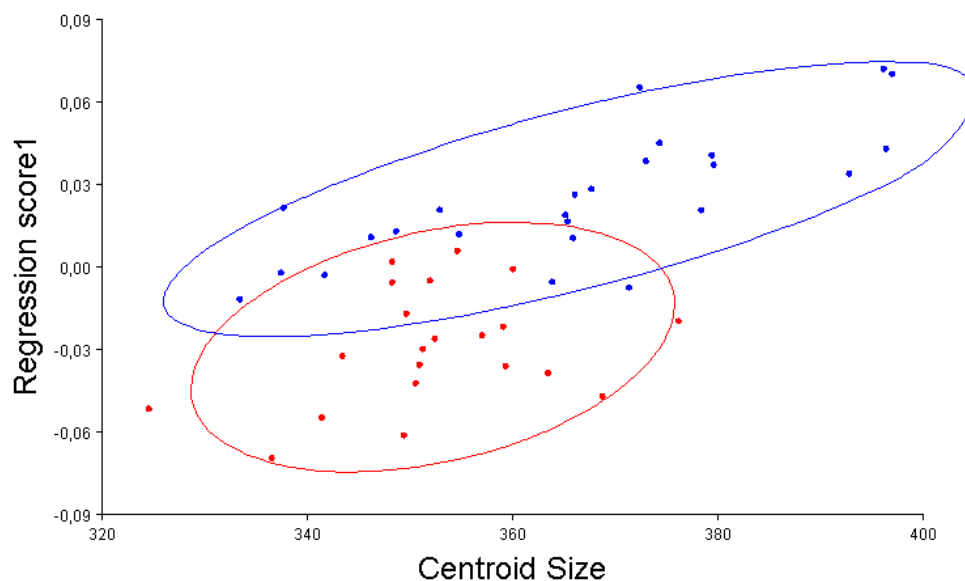


Figura 7: Gráfica de las puntuaciones de la regresión (*regression score1*) y el tamaño (*centroid size*). Coxales masculinos (azul) y femeninos (rojo)

Las mujeres tienden a presentar menores dimensiones que los hombres, pero no es una afirmación concluyente ya que podemos observar que existe cierto solapamiento (Figura 7). Asimismo, los hombres más pequeños siguen presentando un morfotipo masculino, al igual que las mujeres más grandes presentan una conformación femenina. De la misma manera, mujeres con tamaño corporal reducido, que presentarían coxales pequeños, no ven disminuida su capacidad reproductora al mantenerse inalteradas las dimensiones obstétricas necesarias (Kurki, 2007). Por todo ello, el tamaño no parece estar condicionando un tipo de forma determinada.

Al realizar una regresión entre el tamaño y la forma separando los individuos masculinos y femeninos, obtenemos una significación para los hombres ($p=0,0253$, con 10 000 permutaciones) que no se observa en las mujeres ($p=0,4679$, con 10 000 permutaciones). La falta de alometría en los coxales femeninos se debe a que el equilibrio entre la postura bípeda y los requerimientos de la gestación y parto que se produce en ellas, implica necesariamente una serie de limitaciones o restricciones en la forma. Al no suceder esto en los hombres, sus coxales pueden presentar mayor variabilidad y mostrar patrones alométricos. De hecho, esta mayor variabilidad hace que sea más fácil clasificar erróneamente a un hombre, si este es pequeño, que a una mujer por grande que sea.

De este modo, se vuelve a poner de manifiesto que los métodos métricos de determinación de sexo que utilizan medidas lineales no correlacionadas entre sí, fundamentados en las diferencias de tamaño existentes teóricamente entre hombres y mujeres, no parecen resultar apropiados para esta caracterización (Ferembach *et al.*, 1980; Rascón, 2003; Bruzek y Murail, 2006), por lo que habría que hacer una revisión más profunda al respecto.

Análisis discriminante

Este análisis se ha realizado para determinar aquellas variables que mejor diferencian a los hombres de las mujeres y evaluar su poder discriminante. Los cambios en la forma se describen con la representación gráfica de las asociaciones entre los *landmarks*, representada previamente sobre el hueso coxal en la Figura 8 para facilitar la interpretación. La configuración típica masculina y femenina se representa en la Figura 9.

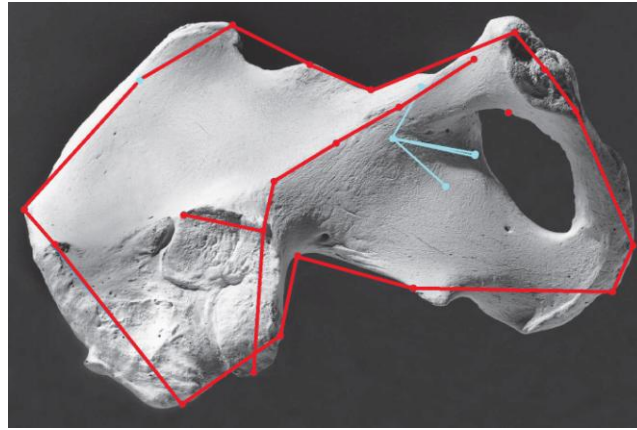


Figura 8: Representación gráfica de las asociaciones entre *landmarks*.
En azul claro las estructuras ocultas en vista medial
(Imagen modificada de White y Folkens, 2005)

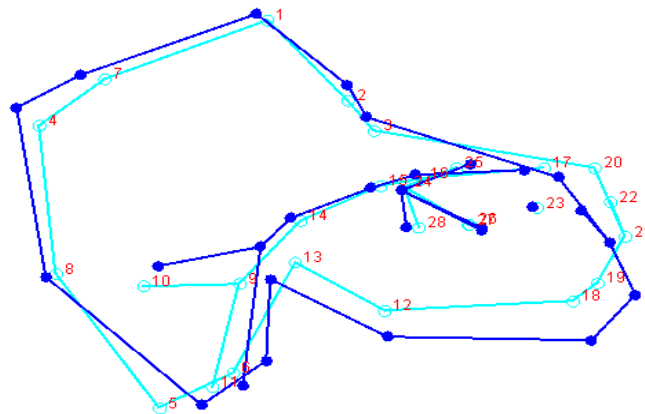


Figura 9: Forma típica masculina (azul oscuro) y forma típica femenina (azul claro)

Las diferencias encontradas han sido contrastadas con los centroides de cada grupo (hombres y mujeres) comparando tanto la distancia Procrustes como la distancia de Mahalanobis, obteniendo significación para ambos estadísticos: $p < 0,0001$, con 10 000 permutaciones. Observando la Figura 9, y sólo si eliminamos de esos términos el concepto de tamaño como se ha considerado habitualmente, la configuración típica masculina (azul oscuro) puede describirse como robusta, al ser una estructura más compacta. La femenina (azul claro), por el contrario, es grácil, al presentar estructuras y contornos más estilizados. Las mayores diferencias se observan, de nuevo, en las estructuras que constituyen el canal del parto. La forma típica femenina presenta la línea arcuata de mayor longitud (posición de los *landmarks* 9 y 17), la región isquiopúbica es más corta y está proyectada hacia adelante, la escotadura ciática mayor es más amplia y la posición de la mitad del ilion donde se encuentra la articulación sacroilíaca favorece el desplazamiento del sacro hacia una posición posterior. En la forma típica masculina sucede lo contrario, la línea arcuata es más corta, el isquion es más largo y el pubis más corto, la

escotadura ciática mayor forma un ángulo muy cerrado y la articulación sacroilíaca determina que el sacro se encuentre cerrado sobre la cavidad pélvica.

La prueba de validación cruzada que aporta el análisis discriminante clasifica correctamente un 90,48 % de mujeres y un 80 % de hombres. Ambos porcentajes son elevados tal y como se describe en la literatura (Pretorius *et al.*, 2006; González *et al.*, 2009; Bytheway y Ross, 2010) y concuerdan con la mayor probabilidad de clasificar individuos masculinos erróneamente a consecuencia de su gran variabilidad. Al hallar estas precisiones, algunos de estos autores consideran la Morfometría geométrica en sí misma como un método de determinación de sexo. Sin embargo, esta técnica parece aportar una información muy valiosa, pero exclusiva, de la variabilidad contenida en la muestra de estudio. La adición de nuevos individuos cambia el resultado de los análisis mostrando patrones diferentes de variabilidad, por lo que no podemos obtener una verdadera función discriminante aplicable a cualquier individuo hallado que requiera de esta determinación. Asimismo, estudios de Morfometría geométrica aplicados al hueso coxal de distintas poblaciones han constatado que estos porcentajes se reducen considerablemente debido a la influencia de los patrones de variabilidad intra e interpoblacionales (Steyn *et al.*, 2004; González *et al.*, 2007).

Que la Morfometría geométrica no pueda establecerse como método de determinación de sexo no quiere decir que no aporte información relevante para esta tarea. Esta metodología confirma los criterios de la determinación sexual de aquellas técnicas que se basan en las diferencias morfológicas entre hombres y mujeres como consecuencia de la implicación que la pelvis tiene en la reproducción y, de esta manera, apoya y refuerza los métodos fundamentados en estas premisas.

5.3 Estudio de la simulación de restos arqueológicos

El isquion y la mitad anterior del ilion, de forma aislada, no nos permiten identificar el sexo de los individuos al no presentar diferencias significativas para la distancia Procrustes y el estadístico T^2 (equivalente al test que utiliza la distancia de Mahalanobis) entre las formas masculinas y femeninas. Isquion: distancia Procrustes $p=0,3827$ y $T^2=0,1237$, con 10 000 permutaciones. Ilion: distancia Procrustes $p=0,0692$ y $T^2=0,2149$, con 10 000 permutaciones.

Por el contrario, sí presentan diferencias significativas entre las formas masculinas y femeninas el pubis, el acetábulo y la mitad posterior del ilion con la articulación sacroilíaca (pubis: distancia Procrustes y T^2 $p < 0,0001$; acetábulo: distancia Procrustes $p = 0,0011$ y T^2 $p = 0,0386$; mitad posterior del ilion: distancia Procrustes $p < 0,0001$ y T^2 $p = 0,0002$, con 10 000 permutaciones).

El pubis es la mejor estructura que de forma aislada nos permite determinar el sexo, con porcentajes de hasta el 88 %, sin embargo sólo aparece preservada un 52,98 % de las ocasiones (porcentajes obtenidos de las bases de datos pertenecientes a distintas colecciones del Laboratorio de Poblaciones del Pasado).

El acetábulo, a pesar de ser la región del coxal que se preserva en un mayor número de casos (84,77 %), permite realizar la asignación con una precisión baja: 60 % para los hombres y 66,67 % para las mujeres. Estos porcentajes no parecen ser razonables para realizar determinaciones concluyentes.

La mitad posterior del ilion con la articulación sacroilíaca, preservada un 64,25 % de las ocasiones, nos aporta cierta precisión en la determinación: 71,43 % para las mujeres y 76 % para los hombres. Se trata, por tanto, de una estructura a tener en cuenta en caso de no hallar otras regiones que reflejen mayor variabilidad. Hasta ahora se habían analizado algunas características de la forma de la articulación sacroilíaca (Bruzek *et al.*, 1996). Las configuraciones típicas masculinas y femeninas obtenidas en el análisis discriminante indican que sería conveniente analizar la posición relativa del ápex o vértice, al encontrarse más adelantado en hombres que en mujeres, determinando así que la línea arcuata sea más o menos larga. Esta posición relativa genera la forma “J” (ángulo menor de 90°) masculina y la forma de “media luna” (ángulo mayor de 90°) femenina (Bruzek *et al.*, 1996). También parece ser importante su orientación porque condiciona una posición posterior del sacro en mujeres, quedando más adelantado en hombres y cerrando de esta manera el canal.

6. CONCLUSIONES

- ▲ La variabilidad sexual contenida en el coxal no depende de la morfología de una zona concreta del mismo sino que se reparte de forma conjunta a lo largo de distintas regiones del hueso.

- ▲ Las mayores diferencias entre los coxales masculinos y femeninos se encuentran en las estructuras que definen el canal del parto como consecuencia de la implicación de la pelvis en la reproducción. La mujer presenta mayor amplitud de la pelvis, modificando aquellas estructuras asociadas a la cavidad pélvica (pubis, escotadura ciática mayor, articulación sacroilíaca, etc.) a fin de permitir la gestación y parto de un feto a término en condiciones óptimas, siempre con la limitación impuesta por el bipedalismo.
- ▲ Existen diferencias significativas entre el tamaño y la forma de los coxales masculinos y femeninos. Sin embargo, el tamaño sólo influye en un 6 % de la forma. Los hombres pequeños mantienen la morfología masculina y las mujeres grandes la femenina, por lo que el tamaño no condiciona un morfotipo determinado.
- ▲ La reproducción establece una serie de restricciones en la forma del coxal femenino, motivo por el cual las relaciones alométricas no se producen en las mujeres. Los hombres, por el contrario, presentan mayor variabilidad morfológica y un patrón alométrico definido.
- ▲ Los métodos visuales de determinación de sexo, basados en las diferencias sexuales de hombres y mujeres como consecuencia de la implicación de la pelvis en la reproducción, que evalúan las regiones asociadas al canal del parto, quedan reforzados con este estudio. En cambio, aquellos métodos métricos que trabajan con medidas lineales no correlacionadas, basados en las diferencias de tamaño entre hombres y mujeres, pueden ser cuestionados a la luz de los resultados obtenidos.
- ▲ La Morfometría geométrica no constituye por sí misma un método de determinación de sexo. Sin embargo, estas técnicas nos han permitido analizar de manera detallada y precisa la variabilidad sexual existente en el hueso coxal.
- ▲ Sólo el acetábulo, el pubis y la mitad posterior del ilion con la articulación sacroilíaca presentan, cuando aparecen de forma aislada, diferencias significativas entre las formas masculinas y femeninas. El acetábulo, a pesar de preservarse en un elevado número de casos, proporciona precisiones excesivamente bajas y no concluyentes. El pubis, siendo la estructura más precisa en la determinación del sexo de los individuos, se preserva en pocas ocasiones. La mitad posterior del ilion con la articulación sacroilíaca, que aparece preservada en buen número de

ocasiones, es capaz de clasificar con cierta precisión. Por tanto, esta última estructura, debería tenerse en cuenta en caso de no aparecer preservadas regiones que reflejen mayor variabilidad sexual.

7. AGRADECIMIENTOS

A Beatriz Chamero y Markus Bastir, por introducirme al mundo de la Morfometría geométrica. Por vuestra ayuda, paciencia y tiempo robado. A Ángela Delgado Buscalioni y todos los paleontólogos, por prestarnos el MicroScribe para el estudio.

A Armando González y Oscar Cambra, por permitirme trabajar en lo que me gusta, por estar siempre disponibles y cercanos. A Josefina Rascón, es un lujo trabajar y aprender a tu lado, por tu compromiso e ilusión desde el primer día, gracias por todo.

A los compañeros del laboratorio. A los amigos y familia, lo más grande que tengo. Dedicado a mis padres, por ser mi apoyo incondicional; y a mi tía Tere, siento que no hayas podido ver esto faltando tan poco tiempo. Muchísimas gracias a todos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “revolution”. *Ital J Zool.* 2004; 71(1): 5-16.
- Aguilar I. El conocimiento de las poblaciones del pasado a través de los restos óseos: Estudio del osario de la iglesia de Santa María de la Soledad, Almansa (Albacete, s. XIII-XVIII). Creación de un catálogo digital mediante una base de datos relacional en red [Proyecto Fin de Carrera]. Madrid: Universidad Autónoma; 2011.
- Bookstein FL. Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology. Cambridge: University Press; 1991.
- Bruner E, Ripani M. A quantitative and descriptive approach to morphological variation of the endocranial base in modern humans. *Am J Phys Anthropol.* 2008; 137: 30-40.

- Bruzek J, Castex D, Majó T. Évaluation des caractères morphologiques de la face sacro-pelvienne de l'os coxal. Proposition d'une nouvelle méthode de diagnose sexuelle. Bull Mém Soc Anthropol Paris, n.s. 1996; 8(3-4): 491-502.
- Bruzek J. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. Am J Phys Anthropol. 2002; 117: 157-168.
- Bruzek J, Murail P. Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In: Schmitt E, Cunha E, Pinheiro J, editors. Forensic anthropology and medicine. Complementary sciences from recovery to cause of death. Totowa, New Jersey: Humana Press; 2006, 225-242.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville, Arkansas: Arkansas Archeological Survey Research Series; 1994, 44.
- Bytheway JA, Ross AH. A geometric morphometric approach to sex determination of the human adult os coxa. J Forensic Sci. 2010; 55(4): 859-864.
- Campillo D, Subirà ME. Antropología física para arqueólogos. Barcelona: Ariel Prehistoria; 2004.
- Colomer M. El conocimiento de las poblaciones del pasado a través de los restos óseos: ¿Es posible determinar el sexo de los individuos no-adultos? [Proyecto Fin de Carrera]. Madrid: Universidad Autónoma; 2008.
- Debono L, Mafart B. Sex determination from fragmented hip bone using the Bruzek method: Experience in a historic necropolis in Provence (France). Anthropologie. 2006; 44(2): 167-172.
- Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. J Hum Evol. 1980; 9: 517-549.
- González A. Infancia y adolescencia en la Murcia musulmana. Estudio de restos óseos [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma; 1999.
- González PN, Bernal V, Perez SI, Barrientos G. Analysis of dimorphic structures of the human pelvis: Its implications for sex estimation in samples without reference collections. J Archaeol Sci. 2007; 34: 1720-1730.
- González PN, Bernal V, Perez SI. Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. Forensic Sci Int. 2009; 189: 68-74.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia electronica. 2008; 4: 1-9.
http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

- Iscan MY, Derrick K. Determination of sex from the sacroiliac joint: A visual assessment technique. *Florida Sci.* 1984; 47: 94-98.
- Isidro A, Malgosa A. *Paleopatología. La enfermedad no escrita.* Barcelona: Masson; 2003.
- Kelley MA. Sex determination with fragmented skeletal remains. *J Forensic Sci.* 1979; 24(1): 154-158.
- Kendall DG. The diffusion of shape. *Adv Appl Prob.* 1977; 9: 428-430.
- Klingenberg CP. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour.* 2011; 11: 353-357.
http://www.flywings.org.uk/MorphoJ_page.htm
- Kurki HK. Protection of obstetric dimensions in a small-bodied human sample. *Am J Phys Anthropol.* 2007; 133: 1152-1165.
- Lockwood CA, Lynch JM, Kimbel WH. Quantifying temporal bone morphology of great apes and humans: An approach using geometric morphometrics. *J Anat.* 2002; 201: 447-464.
- Murail P, Bruzek J, Houët F, Cunha E. DSP: A tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mém Soc Anthropol Paris*, n.s. 2005; 17(3-4): 167-176.
- O'Higgins P, Jones N. Tools for statistical shape analysis. Hull York Medical School; 2006.
<http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>
- Pérez-Pérez A. Problemática de la caracterización de las condiciones y calidad de vida de poblaciones humanas de épocas pasadas. *Actas II Congreso Nacional de Paleopatología.* Valencia, 1993; 405-413.
- Phenice TW. A newly developed visual method of sexing the os pubis. *Am J Phys Anthropol.* 1969; 30: 297-302.
- Pretorius E, Steyn M, Scholtz Y. Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *Am J Phys Anthropol.* 2006; 129: 64-70.
- Rascón J. Estudio de los huesos coxales de los individuos adultos de la Maqbara de San Nicolás (Murcia, s. XI-XIII) [Trabajo de Iniciación a la Investigación]. Madrid: Universidad Autónoma; 2003.
- Rissech C, Sañudo JR, Malgosa A. The acetabular point: A morphological and ontogenetic study. *J Anat.* 2001; 198: 743-748.

- Robledo B, Tranco GJ. Valoración del dimorfismo sexual a partir de las dimensiones del hueso coxal en la población Wamba (Valladolid). En: Botella MC, Jiménez SA, Ruiz L, Souich PH, editores. Nuevas perspectivas en Antropología. Granada: Universidad de Granada; 1991, 807-817.
- Robledo B, López-Bueis I, del Río P, Tranco GJ. Determinación sexual del coxal mediante funciones discriminantes. Análisis de una serie española de sexo y edad conocidos. En: Nieto JL, Moreno L, editores. Avances en Antropología ecológica y genética. Zaragoza: Universidad de Zaragoza; 1995, 105-111.
- Rogers T, Saunders S. Accuracy of sex determination using morphological traits of the human pelvis. *J Forensic Sci.* 1994; 39(4): 1047–1056.
- Rohlf, FJ, Marcus, LF. A revolution in morphometrics. *Trends Ecol Evolut.* 1993; 8(4): 129–132.
- Scheuer L, Black S. Developmental juvenile osteology. London: Academic Press, Elsevier; 2000.
- Slice DE. Modern morphometrics in physical Anthropology. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers; 2005.
- Slice DE. Geometric morphometrics. *Annu Rev Anthropol.* 2007; 36: 261-281.
- Steyn M, Pretorius E, Hutten L. Geometric morphometric analysis of the greater sciatic notch in South Africans. *HOMO.* 2004; 54(3): 197-206.
- Tague RG. Maternal mortality or prolonged growth: Age at death and pelvic size in three prehistoric Amerindian populations. *Am J Phys Anthropol.* 1994; 95: 27-40.
- Tague RG. Do big females have big pelves? *Am J Phys Anthropol.* 2000; 112: 377-393.
- Toro MV, Mariquez G, Suazo I. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: De la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *Int J Morphol.* 2010; 28(4): 977-990.
- Villena N, Duday H, Houët F. De la fiabilité des liaisons ostéologiques. *Bull Mém Soc Anthropol Paris*, n.s. 1996; 8(3-4): 373-384.
- Waldron T. Counting the dead: The epidemiology of skeletal populations. Chichester: Wiley; 1994.
- White TD, Folkens PA. The human bone manual. London: Academic Press, Elsevier; 2005.
- Zelditch ML, Swiderski D, Sheets D, Fink W. Geometric morphometrics for biologist: A primer. London: Academic Press, Elsevier; 2004.